

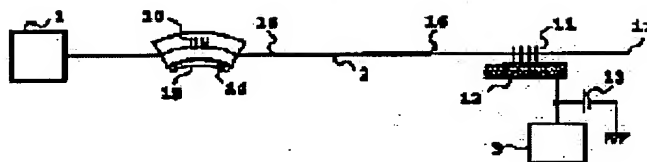
## Q-SWITCH OPTICAL FIBER LASER

**Patent number:** JP10022560  
**Publication date:** 1998-01-23  
**Inventor:** IMAI TAKEYUKI; KOMUKAI TETSUO; NAKAZAWA MASATAKA  
**Applicant:** NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>  
**Classification:**  
- **international:** H01S3/121; H01S3/07  
- **european:**  
**Application number:** JP19960172080 19960702  
**Priority number(s):**

### Abstract of JP10022560

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a Q-switch optical fiber laser where a connection loss between elements constituting a laser resonator is small, structure is simple and the alignment of a space optical system is unnecessary.

**SOLUTION:** In the laser resonator constituted of a rare earth added fiber 2 excited by an excitation light source 1 and optical fiber grating reflecting mirrors 10 and 11, stress is given to the reflecting mirror 11 by an oscillator 12 and it extends/contracts in a longitudinal direction. Thus, the period of a refraction factor change in the core of the optical fiber extends/contracts and the reflected wavelength of the optical fiber grating reflecting mirror 11 changes. The change of the reflected wavelength is set so that the reflected wavelength band of the optical fiber grating reflecting mirror 11 is periodically overlapped with the reflected wavelength band of the optical fiber grating reflecting mirror 10 by a high frequency power source 3 and a DC fiber power source 13.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-22560

(43) 公開日 平成10年(1998) 1月23日

(51) Int.Cl.<sup>9</sup>H 0 1 S 3/121  
3/07

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 S 3/121  
3/07

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平8-172080

(22) 出願日 平成8年(1996) 7月2日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 今井 健之

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 小向 哲郎

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72) 発明者 中沢 正隆

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

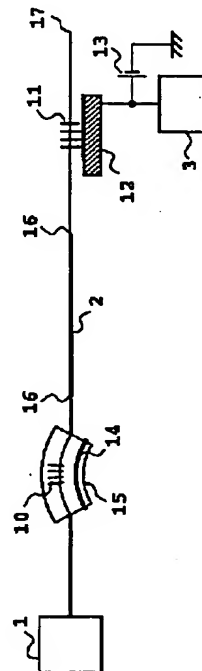
(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

(54) 【発明の名称】 Q-スイッチ光ファイバレーザ

(57) 【要約】

【課題】 レーザ共振器を構成する素子間の結合損失が小さく、構造が簡易で、空間光学系のアライメントが不要なQ-スイッチ光ファイバレーザを構成する。

【解決手段】 励起光源1によって励起される希土類添加ファイバ2と光ファイバグレーティング反射鏡10および11からなるレーザ共振器において、光ファイバグレーティング反射鏡11は、振動子12により応力を与えられ、長手方向に伸縮する。このため、光ファイバのコア中の屈折率変化の周期が伸縮し、光ファイバグレーティング反射鏡11の反射波長が変化する。この反射波長の変化は高周波電源3と直流バイアス電源13によって、光ファイバグレーティング反射鏡11の反射波長帯域が光ファイバグレーティング反射鏡10の反射波長帯域と周期的に重なるように設定される。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 希土類元素をコアに添加した光ファイバを利得媒質とし、レーザ共振器のQ値を急速に増加させることによりパルス発振を行うQ-スイッチ光ファイバレーザにおいて、

前記レーザ共振器は前記希土類元素をコアに添加した光ファイバの入射側および出射側にそれぞれ光ファイバグレーティング反射鏡を設けてなり、

前記光ファイバグレーティング反射鏡の少なくとも一方には、電圧を印加することによって伸縮して当該光ファイバグレーティング反射鏡に応力を与え、当該光ファイバグレーティング反射鏡の反射波長を変化させるための素子が設けられていることを特徴とするQ-スイッチ光ファイバレーザ。

【請求項2】 前記素子がピエゾ電気トランスデューサ、ソレノイドまたは磁歪素子であることを特徴とする請求項1に記載のQ-スイッチ光ファイバレーザ。

【請求項3】 前記素子が前記光ファイバグレーティング反射鏡の双方に設けられていることを特徴とする請求項1または2に記載のQ-スイッチ光ファイバレーザ。

【請求項4】 前記素子が前記光ファイバグレーティング反射鏡の一方に設けられ、他方の光ファイバグレーティング反射鏡には金属棒が熱収縮テープによって一体化されていることを特徴とする請求項1または2に記載のQ-スイッチ光ファイバレーザ。

【請求項5】 前記光ファイバグレーティング反射鏡が前記希土類元素をコアに添加した光ファイバ入射側端部および出射側端部に融着接続されていることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載のQ-スイッチ光ファイバレーザ。

【請求項6】 前記光ファイバグレーティング反射鏡のそれぞれが前記希土類元素をコアに添加した光ファイバに形成されていることを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載のQ-スイッチ光ファイバレーザ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光ファイバレーザに関し、特にレーザ共振器のQ値を急速に増加させることによりパルス発振を行うQ-スイッチ光ファイバレーザに関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 図2は従来のQ-スイッチ光ファイバレーザの構成の一例を示した図であり、1は励起光源、2は希土類元素をコアに添加した光ファイバ（以下、希土類添加ファイバと称する）、3は高周波電源、4aおよび4bは反射鏡、5aおよび5bは集光レンズ、6は光バンドパスフィルタ、7は音響光学素子、8は希土類添加ファイバ2から出射した光の音響光学素子7による1次の回折光、9は希土類添加ファイバ2から出射した光の音響光学素子7による0次の回折光を表す。

2

【0003】 前記構成において励起光源1から出射した励起光は集光レンズ5によって反射鏡4a、4bと希土類添加ファイバ2からなるレーザ共振器に入射する。集光レンズ5aによって導かれた励起光は反射鏡4aを介して希土類添加ファイバ2に入射し、希土類添加ファイバ2を励起する。励起された希土類添加ファイバ2から出射した光は集光レンズ5bを介して音響光学素子7に入射する。音響光学素子7は、高周波電源3によって印加された電圧に応じて回折効率に変化する回折格子である。音響光学素子7による1次の回折光8の強度は、音響光学素子7に印加された電圧によって決定される。反射鏡4bは、1次の回折光8を反射し希土類添加ファイバ2にフィードバックする。0次の回折光9がこのレーザからの出力である。

【0004】 音響光学素子7によって回折された1次の回折光8の強度が小さいときには、希土類添加ファイバ2にフィードバックされる光の強度が小さいので、レーザ共振器のフィネス、すなわちQ値は低い状態にある。また、回折光8の強度が大きいたときには、希土類添加ファイバ2にフィードバックされる光の強度も大きく、レーザ共振器のQ値は高い状態にある。

【0005】 高周波電源3によって音響光学素子7に印加される電圧を高速に変化させることにより、音響光学素子7によって回折された1次の回折光8の強度を小さい状態から大きい状態に急速に変化させることで、Q-スイッチングが行われレーザ共振器のQ値は急速に増加し、光パルスが発生する。また、発生する光パルスの波長の調整は、光バンドパスフィルタ6によって行われる。

## 30 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、レーザ共振器を構成する反射鏡や希土類を添加したファイバおよびレーザ共振器中においてQ-スイッチングを行う音響光学素子などが空間光学系を用いて結合されており、このためレーザの構造と空間光学系のアライメントが複雑になり、また、各素子間に大きな結合損失を持つという問題があった。

【0007】 本発明の目的はレーザ共振器を構成する素子間の結合損失の小さい、構造が簡易で、空間光学系のアライメントが不要なQ-スイッチ光ファイバレーザを提供することにある。

## 40 【0008】

【課題を解決するための手段】 上述した目的を達成するために、本発明によるQ-スイッチ光ファイバレーザは、希土類元素をコアに添加した光ファイバを利得媒質とし、レーザ共振器のQ値を急速に増加させることによりパルス発振を行うQ-スイッチ光ファイバレーザにおいて、前記レーザ共振器は前記希土類元素をコアに添加した光ファイバの入射側および出射側にそれぞれ光ファイバグレーティング反射鏡を設けてなり、前記光ファイ

50

3

バグレーティング反射鏡の少なくとも一方には、電圧を印加することによって伸縮して当該光ファイババグレーティング反射鏡に応力を与え、当該光ファイババグレーティング反射鏡の反射波長を変化させるための素子が設けられていることを特徴とする。

【0009】ここで、前記素子がピエゾ電気トランスデューサ、ソレノイドまたは磁歪素子であると好適である。

【0010】前記素子が前記光ファイババグレーティング反射鏡の双方に設けられていてもよく、前記素子が前記光ファイババグレーティング反射鏡の一方に設けられ、他方の光ファイババグレーティング反射鏡には金属棒が熱収縮テープによって一体化されていてもよい。

【0011】前記光ファイババグレーティング反射鏡が前記希土類元素をコアに添加した光ファイバ入射側端部および出射側端部に融着接続されていてもよく、さらに前記光ファイババグレーティング反射鏡のそれぞれが前記希土類元素をコアに添加した光ファイバに形成されていることが好ましい。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明においては希土類元素をコアに添加した光ファイバを利得媒質とし、その両端にそれぞれ光ファイババグレーティング反射鏡を設けてレーザ共振器を構成する。両端の光ファイババグレーティング反射鏡の少なくとも一方は電圧を印加することによって伸縮する素子によって応力を与えられ、それによって反射波長が変化する。このような構成によってレーザ共振器のQ値を急速に変化でき、Qスイッチングを行うことができる。

【0013】本発明によれば、空間光学系を用いないため、レーザ共振器を構成する素子間の結合損失が小さく、構造が簡易で空間光学系のアライメントが不要なQスイッチ光ファイバレーザが実現できる。

【0014】

【実施例】

（実施例1）図1は本発明のQスイッチ光ファイバレーザの第1の実施例を示すもので、図中、従来例と同一構成部分は同一符号をもって示す。すなわち、1は励起光源、2は希土類添加ファイバ、3は高周波電源、10および11は光ファイババグレーティング反射鏡、12は電圧を印加することにより伸縮する素子（以下、振動子と称する）、13は直流バイアス電源、14は可撓性の金属棒、15は熱収縮チューブ、16はレーザ共振器中の光ファイバの融着接続点、17はこのレーザの出射端を示す。

【0015】光ファイババグレーティング反射鏡10は、励起光源1から出射される励起光が入射するように設置される。光ファイババグレーティング反射鏡10および11は光ファイバのコア中に、光ファイバ長手方向に対して形成された周期的な屈折率変化を持ち、屈折率変化の

4

周期のピッチに応じた波長の光をある波長帯域をもって反射するもので、希土類添加ファイバ2の両端に融着接続される。このような光ファイババグレーティング反射鏡は光ファイバのコアに紫外線をコアの長さ方向に周期的に照射することによって得られる。光ファイババグレーティング反射鏡10および11の反射波長は希土類添加ファイバ2が増幅特性を持つ波長帯域内に設定されている。希土類添加ファイバ2に添加する希土類元素として、例えば波長1 $\mu$ m帯に増幅特性を持つネオジウムやイットリビウム、1.55 $\mu$ m帯に増幅特性を持つエルビウム、1.9 $\mu$ mから2 $\mu$ m帯に増幅特性を持つツリウムやホロビウムなどの使用が可能である。光ファイババグレーティング反射鏡10および11と希土類添加ファイバ2でこのレーザの共振器を構成する。振動子12は光ファイババグレーティング反射鏡11の長手方向に伸縮を与えるよう設置されている。振動子12は高周波電源3により駆動される。振動子12としては、例えばピエゾ電気トランスデューサ、ソレノイド、 $\pi$ 型磁歪素子などの使用が可能である。金属棒14は光ファイババグレーティング11に熱収縮チューブ15を用いて密着され、一体となって挙動する。

【0016】図3に振動子12の一例を示す。18はピエゾ電気トランスデューサ、19は光ファイババグレーティング反射鏡保持用ホルダ、20は接着剤を示す。

【0017】ここで、振動子12はピエゾ電気トランスデューサ18と光ファイババグレーティング反射鏡保持用ホルダ19から構成される。

【0018】光ファイババグレーティング反射鏡保持用ホルダ19はピエゾ電気トランスデューサ18の両端に接着剤20を用いて固定されている。光ファイババグレーティング反射鏡11は保持用ホルダ間のみ存在する構成になっており、その両側は光ファイババグレーティング反射鏡保持用ホルダ19に接着剤20を用いて固定されている。このため、ピエゾ電気トランスデューサ18の伸縮とともに光ファイババグレーティング反射鏡11が伸縮する。

【0019】このレーザを動作させるには、まず、励起光源1より励起光を希土類添加ファイバ2と光ファイババグレーティング反射鏡10および11からなるレーザ共振器に導く。希土類添加ファイバ2はこの励起光により励起される。

【0020】光ファイババグレーティング反射鏡11は、振動子12により応力を与えられ、長手方向に伸縮する。このため、光ファイバのコア中の屈折率変化の周期が伸縮し、光ファイババグレーティング反射鏡11の反射波長が変化する。この反射波長の変化は高周波電源3と直流バイアス電源13によって、光ファイババグレーティング反射鏡11の反射波長帯域が光ファイババグレーティング反射鏡10の反射波長帯域と周期的に重なるように設定される。

【0021】ここで、光ファイバグレーティング反射鏡10および11の反射帯域が重なり合わないときには、このレーザ共振器のQ値は低く、光ファイバグレーティング反射鏡10および11の反射帯域が重なり合うときにはこのレーザ共振器のQ値は高い。光ファイバグレーティング11の反射波長の変化が十分に早ければ、Qスイッチングが行われ、光パルスが発生する。発生した光パルスの波長は光ファイバグレーティング反射鏡10および11の反射帯域が重なり合う部分の波長である。

【0022】光ファイバグレーティング反射鏡10の反射波長は金属棒14に曲げを与えることで長手方向に対し応力を与えることで調整できるため、発生した光パルスの波長も調整できる。

【0023】また、ここでレーザ共振器を構成する素子である希土類添加ファイバ2と光ファイバグレーティング反射鏡10および11との間の結合損失は、たかだか融着接続による程度である。

【0024】図4に、励起光源1として波長1.48  $\mu$ m帯の半導体レーザ、希土類添加ファイバ2に添加する希土類元素としてエルビウムを用い、周波数1kHzの三角波で振動子12を駆動したときの、このレーザから出射した光パルスの形状を示す。光パルスの半値幅は2.46  $\mu$ s、繰返しは1kHz、発振波長は1.552  $\mu$ mであった。

【0025】図5に、上記条件において、光ファイバグレーティング10の波長を1.552  $\mu$ mから1.556  $\mu$ mまで1nmおきに調整したときのレーザから出射した光のスペクトルを示す。

【0026】（実施例2）図6は本発明のQスイッチ光ファイバレーザの第2の実施例を示すもので、ここでは、第1の実施例における光ファイバグレーティング反射鏡10および11を、希土類添加ファイバ2の中に形成した例を示す。すなわち、2aが希土類添加ファイバのうちレーザ共振器を構成する部分、2bが希土類添加ファイバのうちレーザ共振器を構成しない部分を表す。本実施例ではレーザ共振器中に融着接続点を持たない。その他の構成は実施例1と同様である。

【0027】この動作はファイバグレーティング反射鏡11からの出射光が希土類添加ファイバ2bを通過すること以外、実施例1と同様である。すなわち、励起光源1より励起光は希土類添加ファイバ2aと光ファイバグレーティング反射鏡10および11からなるレーザ共振器に導かれ、希土類添加ファイバ2aはこの励起光により励起される。このとき、励起光が十分に大きければ、希土類添加ファイバのうちレーザ共振器を構成しない部分2bも、光ファイバグレーティング反射鏡11を透過した励起光により励起される。すなわち、希土類添加ファイバ2bは光ファイバグレーティング反射鏡11から出射する光パルスに対して増幅作用をもつ。これは、実施例1のレーザの出射端に光増幅器を接続したの

と同様である。

【0028】また、レーザ共振器中に融着接続点を持たないので、レーザ共振器を構成する素子間の結合損失はない。

【0029】実施例2の構成によれば、実施例1の場合に比べて尖頭値の大きな光パルスを得ることができる。

【0030】（実施例3）図7は本発明によるQスイッチ光ファイバレーザの第3の実施例を示すもので、ここでは、第1の実施例における光ファイバグレーティング反射鏡10も振動子で駆動した例を示す。すなわち、12aおよび12bは振動子、13aおよび13bは直流バイアス電源、21は移相器を表す。その他の構成は実施例1と同様である。

【0031】この動作は光ファイバグレーティング反射鏡10を、振動子12a、直流バイアス電源13aおよび移相器21を用いて、光ファイバグレーティング反射鏡11の伸縮と逆相に駆動した以外、実施例1と同様である。すなわち、光ファイバグレーティング反射鏡10および11は、それぞれ振動子12aおよび12bにより応力を与えられ、長手方向に伸縮する。このため、光ファイバのコア中の屈折率変化の周期が伸縮し、光ファイバグレーティング反射鏡10および11の反射波長が変化する。この反射波長の変化は高周波電源3と直流バイアス電源13aおよび13bによって、光ファイバグレーティング反射鏡10および11の反射波長帯域と周期的に重なるように設定される。このとき、光ファイバグレーティング反射鏡10および11の反射帯域が重なり合わない状態から重なり合う状態への移行の早さは、光ファイバグレーティング反射鏡10および11が逆相に駆動されているため実施例1の場合より早くなる。すなわち、実施例1の場合に比べて高速なQスイッチングが実現される。

【0032】また、発生する光パルスの波長は直流バイアス電源13aおよび13bによって調整される。

【0033】実施例3の構成によれば、実施例1の場合に比べて半値幅の小さな光パルスを得ることができる。

【0034】（実施例4）図8は本発明によるQスイッチ光ファイバレーザの第4の実施例を示すもので、ここでは、第1の実施例における光ファイバグレーティング反射鏡10を反射波長の異なる複数個の光ファイバグレーティング反射鏡に置き換えた例を示す。すなわち、10aおよび10bは光ファイバグレーティング反射鏡を表す。その他の構成は実施例1と同様である。

【0035】この動作は光ファイバグレーティング反射鏡10を反射波長の異なる複数個の光ファイバグレーティングに置き換えたこと以外実施例1と同じである。すなわち、励起光を励起光源1から、希土類添加ファイバ2と反射波長を希土類添加ファイバ2が増幅特性を持つ波長帯域内に持ち、かつ反射波長の異なる光ファイバグレーティング反射鏡10a、10bおよび光ファイバ

グレーティング反射鏡 11 からなるレーザ共振器に導く。希土類添加ファイバ 2 はこの励起光により励起される。光ファイバグレーティング反射鏡 11 は、振動子 12 により応力を与えられ、長手方向に伸縮する。このため、光ファイバのコア中の屈折率変化の周期が伸縮し、光ファイバグレーティング反射鏡 11 の反射波長が変化する。この反射波長の変化は高周波電源 3 と直流バイアス電源 13 によって、光ファイバグレーティング反射鏡 11 の反射波長帯域が光ファイバグレーティング反射鏡 10 a および 10 b の反射波長帯域と交互に、時間差を持って重なるように設定される。このとき、発生した光パルスの波長は光ファイバグレーティング反射鏡 10 a もしくは 10 b と光ファイバグレーティング反射鏡 11 の反射帯域が重なり合う部分の波長であるので、本光ファイバレーザからは波長の異なる光パルスが交互に出射する。

【0036】実施例 4 の構成によれば、実施例 1 の場合に比べて多数の波長の光パルスを得ることができる。

【0037】

【発明の効果】以上述べたように、本発明によれば空間光学系を用いないためレーザ共振器を構成する素子間の結合損失が小さい、構造が簡易で空間光学系のアライメントが不要な Q-スイッチ光ファイバレーザを実現することができる。

【0038】また、本発明による Q-スイッチ光ファイバレーザはその光学系の大部分が光ファイバからなるため、製作と実装が容易であり、かつ光ファイバ通信システムや光ファイバセンサシステムとの整合がとりやすいため、OTDR などの光計測技術や光信号処理技術への応用が期待できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の Q-スイッチ光ファイバレーザの第 1 の実施例の構成を示す図である。

【図 2】従来の Q-スイッチ光ファイバレーザの一例の \*

\* 構成を示す図である。

【図 3】本発明の Q-スイッチ光ファイバレーザにおける、素子 12 の構成の一例を示す斜視図である。

【図 4】第 1 の実施例による光パルスの波形測定結果の一例を示す図である。

【図 5】第 1 の実施例による出射レーザ光のスペクトルの一例を示す図である。

【図 6】本発明の Q-スイッチ光ファイバレーザの第 2 の実施例の構成を示す図である。

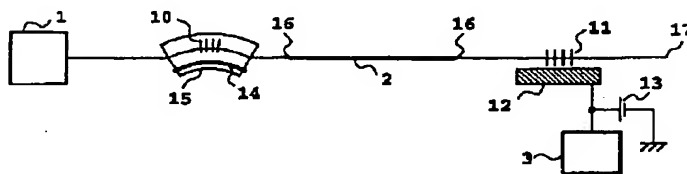
10 【図 7】本発明の Q-スイッチ光ファイバレーザの第 3 の実施例の構成を示す図である。

【図 8】本発明の Q-スイッチ光ファイバレーザの第 4 の実施例の構成を示す図である。

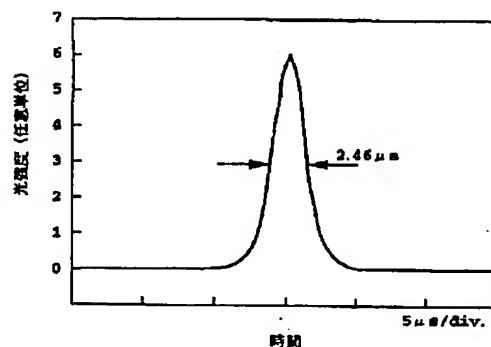
【符号の説明】

- 1 励起光源
- 2 希土類元素をコアに添加した光ファイバ
- 3 高周波電源
- 4 反射鏡
- 5 集光レンズ
- 20 6 光バンドパスフィルタ
- 7 音響光学素子
- 8 音響光学素子による 1 次の回折光
- 9 音響光学素子による 0 次の回折光
- 10, 11 光ファイバグレーティング反射鏡
- 12 電圧を印加することにより伸縮する素子
- 13 直流バイアス電源
- 14 金属棒
- 15 熱収縮チューブ
- 16 融着接点
- 30 17 出射端
- 18 ピエゾ電気トランスデューサ
- 19 光ファイバグレーティング反射鏡保持用ホルダ
- 20 接着剤
- 21 移相器

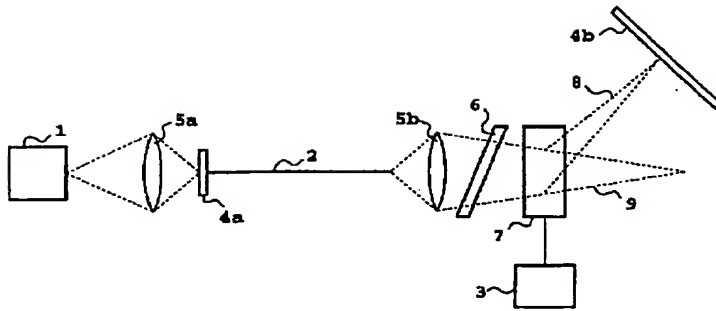
【図 1】



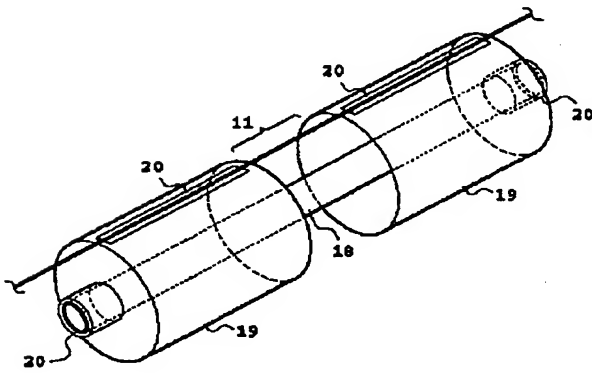
【図 4】



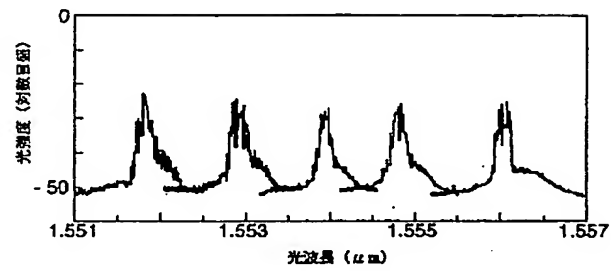
【図2】



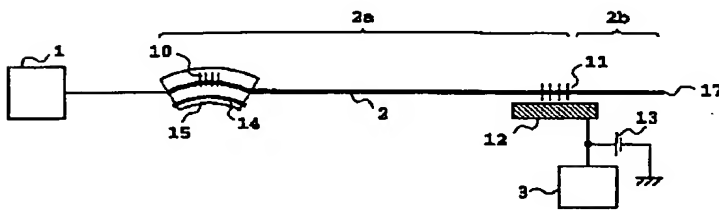
【図3】



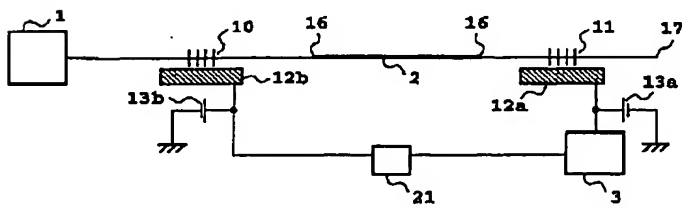
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

